中国生态农业学报 2016 年 6 月 第 24 卷 第 6 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Jun. 2016, 24(6): 811−818

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.151179

重庆市畜禽粪污的区域分布及其水环境响应特征分析*

周媛媛[1] 殷 捷[2] 杨志敏[1] 黄 磊[1] 陈玉成[1**]

(1. 西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室/西南大学资源环境学院 重庆 400716;
2. 重庆市环境科学研究院 重庆 401147)

摘 要 为解决常见畜禽养殖排污量估算方法存在的缺陷和核实重庆市畜禽养殖目前污染状况, 在调研当地畜禽养殖业及其排放状况的基础上, 提出计算规模化养殖场排污量的校正方法, 核算在现有治污模式下的典型畜禽排污量; 以重庆市五大功能区为研究对象, 基于不同水环境功能区划, 采用等标污染负荷比法, 研究了化学需氧量(COD_{Cr})、总氮(TN)、总磷(TP)等标排放量的功能区分布及其潜在水环境响应特征, 进而确定了畜禽养殖业主要污染区域和主要污染物, 为重庆市不同功能区的产业发展和环境保护提供决策依据。结果表明, 重庆市 2013 年畜禽养殖量为 411.81 万猪当量, 粪便、尿、COD_{Cr}、TN、TP 实物排放量分别为 2.27×10^6 t、1.66×10^6 t、3.03×10^4 t、0.72×10^4 t 和 1.87×10^4 t。COD_{Cr}、TN、TP 等标排放量分别为 1.44×10^9 m^3、7.94×10^9 m^3 和 1.02×10^{11} m^3。主要污染区域为城市发展新区和渝东北生态涵养发展区, 主要污染物为 TP, 且重庆市畜禽养殖业的发展与功能区划有着显著相关关系。因畜禽养殖污染引起的全市水环境水质综合指数在 0.22~4.12。城市发展新区和渝东北生态涵养发展区的水质超过标准, 其余功能区均未超标。

关键词 畜禽养殖 产污系数 排污系数 排污量 等标污染负荷 区域分布 水环境
中图分类号: X821 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2016)06-0811-08

Regional distribution of livestock manure and response characteristics of water environment in Chongqing*

ZHOU Yuanyuan[1], YIN Jie[2], YANG Zhimin[1], HUANG Lei[1], CHEN Yucheng[1**]

(1. Key Laboratory of Eco-environments in the Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education / College of Resources and Environmental Sciences, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Chongqing Academy of Environmental Science, Chongqing 401147, China)

Abstract Correct calculations of livestock pollutants discharges are required for determination of the impact of livestock on water environment. The existing estimation methods of livestock pollutants discharges are insufficient and confusing in terms of definition of discharge coefficients, and therefore induce mistakes in breeding cycle calculations and livestock elimination rate. Aiming to meet these problems, the paper established calibration methods for calculating production coefficient and discharge coefficient of pollutants, and breeding cycle of livestock, based on livestock breeding data and pollution control methods of Chongqing City of China. And the producing and discharging amounts of livestock in Chongqing City were estimated with the methods. According to ecological function of five functional areas of Chongqing City and discharge characteristics of chemical oxygen demand (COD_{Cr}), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP), the equiscalar pollution loading ratio and comprehensive pollution index were used to investigate regional distribution of livestock manure and water environment response and to identify the main pollutants and polluted areas in Chongqing. The results provided the needed decision support for industrial development and environmental protection. Results showed that the breeding cycles of pig,

* 国家科技支撑计划项目(2015BAL04B01)资助
** 通讯作者: 陈玉成, 主要研究方向为农业生物环境与能源工程。E-mail: chenyucheng@swu.edu.cn
周媛媛, 主要研究方向为区域环境规划。E-mail: zhou0713@email.swu.edu.cn
收稿日期: 2015−10−30 接受日期: 2016−01−06
* Funded by the National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China (No. 2015BAL04B01)
** Corresponding author, E-mail: chenyucheng@swu.edu.cn
Received Oct. 30, 2015; accepted Jan. 6, 2016

dairy cattle, beef cattle, laying hens and broilers were 122, 365, 365, 52 and 365 days, respectively. The corresponding discharge coefficients for COD_{Cr} were 0.049, 0.626, 0.170, 0.002 and 0.001 $kg \cdot head^{-1} \cdot d^{-1}$, respectively. Also the corresponding discharge coefficients for TN were 0.013, 0.081, 0.048, 0.001 and 0 $kg \cdot head^{-1} \cdot d^{-1}$, respectively. Then the corresponding discharge coefficients for TP were 0.012, 0.024, 0.030, 0.001 and 0.003 $kg \cdot head^{-1} \cdot d^{-1}$, respectively. A total of 411.81×10^4 equivalent pig heads were raised in 2013 in Chongqing City, and 2.27×10^6 tons manure, 1.66×10^6 tons urine and were discharged containing respectively 3.03×10^4 t, 0.72×10^4 t and 1.87×10^4 tons of COD_{Cr}, TN and TP. Based on pollution evaluation, the main contaminated areas were urban development area and northeast ecological conservation development area, with TP as the main pollutant. The synthetic index of water potential quality range was 0.22–4.12. The results also showed that the development of livestock breeding was significantly correlated with function regionalization. Water pollution was not the main environmental problem in urban core function area, which was the center of politics, economy and culture defined some sections as “forbidden region for raising livestock”. Urban development area was the main polluted region, where implement industrial planting was promoted in order to solve the contradictions between economic progress and environmental protection. The northeast ecological conservation development area was another main polluted region, where the ecological red lines were needed to build to restrict project implementation and protect the Three Gorges Reservoir.

Keywords Livestock breeding; Pollutant producing coefficient; Pollutant discharge coefficient; Pollutant discharging amount; Equiscalar pollution loading; Regional distribution; Water environment

畜禽养殖业是农业面源污染的主要来源之一，因此，其产排污量的核算，对环境的影响特征分析以及各种治污措施的研发等都成为目前科研的热点问题。对于畜禽养殖排污量的估算，目前国内有两种方法，一是国家环保部推荐的“排污量=出栏量×日排泄系数×饲养周期”[1]；二是采用“排污量=(畜禽出栏量+年末存栏量)×日排放系数×饲养周期”[2]。但前者得到的是一个饲养周期内而非一年的污染物排放量，结果常偏小；后者将年末存栏量也计算一个饲养周期，得到的计算结果偏大。而针对上述两个公式中的日排泄系数，国内学者虽然开展了相关研究，如宋大平等[3]、张绪美等[4]和马林等[5]采用系数法，选用畜禽每日排放粪便中养分含量作为养分排污系数；董红敏等[6]和王俊能等[7]通过建立畜禽养殖业产排污体系，考虑污染治理设施对污染物的消减强度来确定排污系数。但这些研究存在将产污系数与排污系数混淆、忽视治污措施效应等缺陷。因此，合理确定畜禽养殖业的排污量是研究其对水环境污染贡献的第一步。高新昊等[8]、钱晓雍等[9]通过等标污染负荷法，在区县和乡镇尺度上分析包括畜禽养殖在内的农业面源污染对水环境的响应，确定出当地主要污染区和污染程度；陈玉成等[10]、严肃定[11]通过分析农业面源对水环境污染特征，从而进行源解析和空间分析。而目前只有部分城市开展了畜禽养殖业对当地水环境污染程度的评价和相关规划，且都存在以同一地表水质量标准进行衡量的缺点，从而综合评价结果缺乏科学性。

针对目前畜禽养殖业排污量估算方法存在的缺陷，本文基于对重庆市畜禽养殖基础数据的统计分析，依据当地污染治理措施，提出适宜重庆市当地的排污系数与饲养周期的修正方法，探讨目前养殖模式下的产排污量。同时，基于重庆市不同区域的水环境功能划分，科学地分析畜禽养殖对水环境的潜在影响，为重庆市畜禽养殖污染防治规划提供一定的依据。

1 研究区域概况与研究方法

1.1 研究区概况

重庆是中国西南地区的惟一直辖市，也是三峡水库的重要影响区。近年来，重庆市畜禽养殖业发展迅速，2013年畜牧业总产值4.8×10^{10}元，占农业总产值的31.89%[12]。但随之而来的畜禽养殖废弃物排放量也大幅增加，严重威胁了三峡水库的水质安全。2013年重庆市委、市政府根据经济发展与自然条件等情况，将全市划分为“都市功能核心区、都市功能拓展区、城市发展新区、渝东北生态涵养发展区、渝东南生态保护发展区”等五大功能区，从而在生态环境保护方面实行差异化管理。在此背景下，本文以五大功能区为研究对象，探讨目前各区的产排污量及水环境响应特征，为各功能区畜禽养殖的健康发展提供决策依据。

1.2 数据来源

2013年11月重庆市环保局开展“四清四治”专项活动，其中包括对环评三同时、排污许可、环境风险源和环境监管点等方面工作进行“四清”，对畜禽养殖区划管理、环保手续、污染治理设施建设与运管、环境监管重点源和环境风险源等内容进行“四治”。该活动将存栏生猪当量达到100头的畜禽养殖场作为“四清四治”对象，通过开展调研和结合污染普查、环统、群众举报等信息，统计各个养殖场养

殖基本情况、处理工艺、环保投资、环保投诉等内容。所以本文通过“四清四治”系统获取有关重庆市目前畜禽养殖情况的数据。

相关水环境评价数据来源于 2011—2014 年重庆市水资源公报、2014 年重庆环境质量公报、统计年鉴等。

1.3 参数率定

1.3.1 产污系数

畜禽养殖产污系数是指在正常的畜禽养殖生产和管理条件下, 每个畜禽在一天内所产生的原始污染物总量, 包括粪便、尿污及两者中所含的各种污染物。本文通过查找国内近期产污系数相关研究[13−16]和文件[17], 选取重庆市养殖量较大的生猪、肉牛、奶牛、肉鸡、蛋鸡 5 种动物, 通过对文献中粪便产生量、尿产生量、粪便/尿中总化学需氧量(COD_{Cr}, 下文用 COD 表示)、总氮(TN)、总磷(TP)含量等参数取平均值, 按式(1)计算出 COD、TN、TP 的产污系数(表 1)。

$$P_{ij}=Q_{S_i}\times C_{S_{ij}}+Q_{U_i}\times C_{U_{ij}} \tag{1}$$

式中: P_{ij}为 i 动物产 j 污染物量, kg·头$^{-1}$·d^{-1}; Q_{Si}为 i 动物产粪便量, kg·头$^{-1}$·d^{-1}; C_{Sij}为 i 动物粪便中 j 污染物的浓度, mg·kg^{-1}; Q_{Ui}为 i 动物产尿量, kg·头$^{-1}$·d^{-1}; C_{Uij}为 i 动物尿中 j 污染物的浓度, mg·kg^{-1}。

表 1　不同畜禽种类产污系数

Table 1　Pollutants producing coefficients of different livestock and poultries　kg·head^{-1}·d^{-1}

指标 Index		生猪 Pigs	肉牛 Beef cattles	奶牛 Dairy cattles	肉鸡 Broilers	蛋鸡 Laying hens
	粪便量 Manure amont	2.69	17.32	39.15	0.08	0.12
	尿量 Urine amount	3.10	11.16	13.29	—	—
污染物 Pollutant	化学需氧量 COD_{Cr}	0.357	2.132	3.879	0.018	0.021
	总氮(TN) Total nitrogen	0.042	0.160	0.241	0.001	0.004
	总磷(TP)1) Total phosphorus1)	0.012	0.024	0.030	0.001	0.003

1)因各类治污模式对磷没有消减作用, 总磷产污系数与排污系数相同。1) Due to not effectively to be reduced by pollution treatment measures, total phosphorus producing coefficient is same as its discharge coefficient.

1.3.2 排污系数

排污系数是指在日常的畜禽养殖生产和管理条件下, 每个畜禽在一天内所产生的初始污染物经过各种处理设备的处理和利用后, 实际排放到环境中的最终污染物量。可见, 排污系数主要受到人类对畜禽养殖废弃物的管理, 包括清粪方式、粪污利用方式等。重庆市畜禽养殖污染治理模式主要由清粪方式、粪便利用和污水处理方式决定。目前重庆市清粪方式有垫草垫料和干清分离两种, 对于粪便利用方法有直接利用、生产有机肥或出售给有机肥厂和沼气工程 3 种方式, 污水可通过厌氧处理–好氧处理或深度处理后回收利用。

国家环保部在 2011 年制定了“十二五”主要污染物总量减排核算细则, 其中核算了规模化养殖场各种治污措施对 COD 和氨氮的消减率, 本文参照其消减率, 并统计重庆市畜禽养殖场相应治污模式的实施比例, 采用组合累积扣减比例法, 根据式(2), 计算各类畜禽的排污系数。由于各类治污模式对磷没有消减作用, 只是将粪污中的磷转移到沼液沼渣中, 所以磷的排污系数等于产污系数。根据上述计算得表 2。

$$D_{ij}=P_{ij}\cdot(1-\sum n_k\times r_{jk}) \tag{2}$$

式中: D_{ij}为 i 动物排 j 污染物量, n_k为 i 动物养殖场下 k 种治污模式实施比例, r_{jk}为 k 种处理对 j 种污染物消减率。

将表 2 的计算结果与《第一次污染源普查畜禽养殖业源产排污手册》中西南地区的排污系数(表 2 中括号里标明)进行方差检验, 结果无显著性差异, 说明其可作为重庆市目前畜禽养殖情况下的排污系数。

1.3.3 调整系数

目前, 我国针对排污量的计算都基于真实的饲养周期, 但是这种计算存在一定的误差。以猪为例, 若猪的饲养周期是 145 d, 则一年内猪的饲养情况如图 1, 如果采用式(3), 则未计算存栏量 3 的排污量, 计算结果偏小。若采用式(4), 存栏量 3 这一部分按照一个饲养周期来计算排污量的, 实际部分存栏量 3 的畜禽排污量因计入下一年, 所以计算结果偏大。

排污量=(出栏量 1+出栏量 2)×日排放系数×饲养周期　(3)

排污量=(存栏量 1+存栏量 2+存栏量 3)×日排放系数×饲养周期　(4)

综上所述, 实际排污量应采用公式(5)和(6)计算, 对于规模化养殖场, 每次存栏量是一定的, 即年存

表 2 2013 年重庆市畜禽养殖不同畜禽种类不同处理方式下的排污系数

Table 2 Discharge coefficients of different livestock and poultries under different treatment patterns of Chongqing in 2013

畜禽 Livestock or poultry	处理方式 Treatment pattern	实施比例 Proportion (%)	COD		TN	
			去除率 Removal rate (%)	排污系数 Discharge coefficient (kg·head^{-1}·d^{-1})	去除率 Removal rate (%)	排污系数 Discharge coefficient (kg·head^{-1}·d^{-1})
生猪 Pigs	垫草垫料+垫料农业利用 Straw mat + mat agricultural utilization	0.22	88	0.049 (0.086)[1)]	70	0.013 (0.005)
	垫草垫料+垫料生产有机肥 Straw mat + production of organic fertilizer	0.44	93		85	
	干清粪+粪便直接农业利用+污水厌氧+好氧+深度处理 Drying manure + manure agricultural utilization + wastewater anaerobic + aerobic + depth treatment	32.76	86		50	
	干清粪+粪便生产有机肥+污水厌氧+好氧+深度处理 Drying manure + production of organic fertilizer + wastewater anaerobic + aerobic + depth treatment	47.82	95		85	
	干清粪+粪便生产沼气+污水厌氧+好氧+深度处理 Drying manure + production of biogas + wastewater anaerobic + aerobic+ depth treatment	12.99	92		80	
奶牛 Dairy cattles	垫草垫料+垫料农业利用 Straw mat+ mat agricultural utilization	0.00	81	0.626 (1.460)	70	0.081 (0.082)
	垫草垫料+垫料生产有机肥 Straw mat + production of organic fertilizer	0.00	96		85	
	干清粪+粪便直接农业利用+污水厌氧+好氧+深度处理 Drying manure + manure agricultural utilization + wastewater anaerobic + aerobic + depth treatment	21.67	88		40	
	干清粪+粪便生产有机肥+污水厌氧+好氧+深度处理 Drying manure + production of organic fertilizer + wastewater anaerobic + aerobic + depth treatment	61.67	95		85	
	干清粪+粪便生产沼气+污水厌氧+好氧+深度处理 Drying manure + production of biogas + wastewater anaerobic + aerobic + depth treatment	6.67	93		80	
肉牛 Beef cattles	垫草垫料+垫料农业利用 Straw mat+ mat agricultural utilization	0.84	90	0.170 (0.547)	75	0.048 (0.034)
	垫草垫料+垫料生产有机肥 Straw mat+ production of organic fertilizer	1.20	93		90	
	干清粪+粪便直接农业利用+污水厌氧+好氧+深度处理 Drying manure + manure agricultural utilization + wastewater anaerobic + aerobic + depth treatment	33.13	91		45	
	干清粪+粪便生产有机肥+污水厌氧+好氧+深度处理 Drying manure + production of organic fertilizer + wastewater anaerobic + aerobic + depth treatment	52.94	95		85	
	干清粪+粪便生产沼气+污水厌氧+好氧+深度处理 Drying manure + production of biogas + wastewater anaerobic + aerobic+ depth treatment	10.44	93		80	
蛋鸡 Laying hens	垫草垫料+垫料农业利用 Straw mat + mat agricultural utilization	0.00	91	0.002 (0.002)	75	0.001 (0.001)
	垫草垫料+垫料生产有机肥 Straw mat + production of organic fertilizer	0.18	95		90	
	干清粪+粪便直接农业利用 Drying manure + manure agricultural utilization	33.64	88		65	
	干清粪+粪便生产有机肥 Drying manure + production of organic fertilizer	58.41	95		90	
	干清粪+粪便生产沼气 Drying manure + production of biogas	3.47	93		85	
肉鸡 Broilers	垫草垫料+垫料农业利用 Straw mat+ mat agricultural utilization	0.26	92	0.001 (0.004)	75	0.000 (0.000)
	垫草垫料+垫料生产有机肥 Straw mat+ production of organic fertilizer	0.00	95		90	
	干清粪+粪便直接农业利用 Drying manure+ manure agricultural utilization	12.89	89		65	
	干清粪+粪便生产有机肥 Drying manure+ production of organic fertilizer	82.76	96		90	
	干清粪+粪便生产沼气 Drying manure+ production of biogas	3.82	94		85	

1)括号里数字为《第一次污染源普查畜禽养殖业源产排污手册》中西南地区的畜禽排污系数。1) The numbers in brackets are discharge coefficients of Southwest China from ‘Handbook of Generation and Discharge Coefficients from Livestock and Poultry for the First National Pollution Source Survey’.

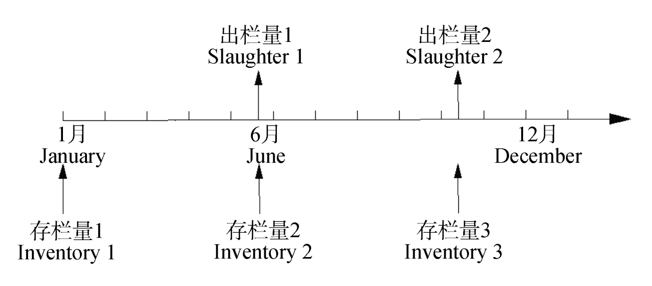


图 1　生猪一年存栏出栏说明图

Fig. 1　Explanatory view of pig inventory and marketing period for one year

栏量是年末存栏量的(n+1)倍，出栏量为年末存栏量的 n 倍。整合公式得式(7)，所以将 365/(n+1)作为调整饲养周期系数。

排污量=[出栏量×饲养周期+年末存栏量×(365−n×饲养周期)]×日排放系数　(5)

n=INT(365/饲养周期)　(6)

实际排污量=年存栏量×日排放系数×365/(n+1)　(7)

根据《重庆市环保局关于开展区县畜禽养殖污染防治规划工作的通知》文件，可得重庆地区畜禽养殖周期。按照上述 1.3.3 的方法，进行修正，可得调整后的生猪、肉牛、奶牛、肉鸡和蛋鸡的饲养周期分别为 122 d、365 d、365 d、52 d 和 365 d。

1.4　畜禽养殖排污量估算

根据上述相关参数的率定，畜禽养殖业排污量为:

$$Q_{mj} = D_{ij} \times \sum N_{mi} \times T_i \quad (8)$$

式中: Q_{mj} 为 m 功能区年排放 j 污染物量, kg·a^{-1}; N_{mi} 为 m 功能区 i 动物饲养量，头; T_i 为 i 动物修正饲养期, d; D_i 为 i 动物日排泄 j 污染物系数, kg·头$^{-1}$·d^{-1}。

1.5　水环境对畜禽养殖污染的响应指标

1.5.1　等标污染负荷比

污染源的综合评价一般采用等标污染负荷法。畜禽养殖污染的等标污染负荷的定义为式(9)。由于等标污染负荷具有可加性和可比性，所以可根据计算式(10)确定等标污染负荷比，确定主要污染地区和污染物。

$$P_{mj} = Q_{mj} / S_j \times 10^3 \quad (9)$$

$$K_{j(m)} = P_{j(m)} \Big/ \sum P_{j(m)} \times 100\% \quad (10)$$

式中: Q_{mj} 为 m 功能区年排放 j 污染物量, kg·a^{-1}; S_j 为 m 功能区所处水功能的 j 污染物地表水环境质量标准, mg·L^{-1}; P_{mj} 为 m 功能区 j 污染物的等标排放量, m^3·a^{-1}; $K_{j(m)}$为 j 污染物(m 功能区)的等标污染负荷比。

1.5.2　畜禽养殖潜在水污染指数

在不考虑水体自净作用情况下，为了反映畜禽养殖排放污染物进入地表水后对其的潜在污染程度，在此采用单项污染指数和综合污染指数法进行评价:

$$I_j = Q_{mj} / (W_m \times S_j) \times 10^{-5} \quad (11)$$

$$I = \sqrt{0.5(I_{\max}^2 + I_{\mathrm{ave}}^2)} \quad (12)$$

式中: I_j 为 j 污染物的单项污染指数; W_m 为 m 功能区地表水资源量(不包括过境水量), 10^9 m^3; I 为畜禽养殖潜在水污染综合指数。

2　结果与分析

2.1　畜禽养殖污染实物排放量的区域分布

根据上述研究方法，获取重庆市五大功能区畜禽养殖量，计算各功能区不同污染物排放量(表 3)，求和得到重庆市 2013 年畜禽养殖量为 411.81 万猪当量，粪便、尿、COD、TN、TP 实物排放量分别为 2.27×10^6 t·a^{-1}、1.66×10^6 t·a^{-1}、3.03×10^4 t·a^{-1}、0.72×10^4 t·a^{-1}、1.87×10^4 t·a^{-1}。从不同功能区养殖量和排污量看，城市发展新区最大，且超过全市排污量的一半，都市功能核心区最小，最大值是最小值的将近 1 900 倍。

可见，重庆市畜禽养殖业的发展与功能区划有着显著关系。都市功能核心区是"大都市"中心区，其是重庆政治经济文化中心，第一产业发展很少，甚

表 3　2013 年重庆市不同功能畜禽养殖污染实物排放量的区域分布

Table 3　Discharge amounts of pollutants of livestock breeding in different functional areas of Chongqing in 2013

功能区 Functional area	养殖当量(万猪当量) Breeding quantity (×10^4 pig equivalent)	粪便 Manure (×10^4 t·a^{-1})	尿 Urine (×10^4 t·a^{-1})	COD (t·a^{-1})	TN (t·a^{-1})	TP (t·a^{-1})
都市功能核心区 Urban core function area	0.12	0.06	0.04	7.65	1.49	7.53
都市功能拓展区 Urban expansion function area	13.65	10.29	12.17	1 767.76	452.62	653.77
城市发展新区 Urban development area	229.28	108.75	77.29	15 176.05	3 560.49	10 657.64
渝东北生态涵养发展区 Northeast ecological conservation development area	137.34	91.25	63.23	11 141.70	2 653.05	6 409.07
渝东南生态保护发展区 Southeast ecological protection development area	31.42	16.58	13.14	2 204.76	551.86	1 000.35
合计 Total	411.81	226.93	165.87	30 297.92	7 219.51	18 728.36

至很多地区划定为“禁养区”，所以水环境污染并不是都市功能核心区面临的主要环境问题。而城市发展新区主要是全市产业的主要区域，其大力发展养殖业等，面临着快速发展与环境相矛盾的问题。

2.2 重庆市畜禽养殖业主要污染地区和污染物

根据水功能类别划分规定[18]，全市水环境功能分区从Ⅰ~Ⅴ不等，统计各功能区所处水环境功能分区，计算基于各自水功能区划的污染物等标排放量和等标污染负荷比(表 4)。从表中可知，2013 年重庆市畜禽养殖业污染物等标排放量为 1.12×10^{11} m³，其中 COD、TN、TP 分别为 1.44×10^{9} m³、7.94×10^{9} m³、1.02×10^{11} m³。将重庆市畜禽养殖污染物(地区)等标污染负荷比由大到小依次排列，计算累计等标污染负荷比。当累计比为 80%左右时，所包含的污染物(地区)即为主要污染物(地区)。从而可得重庆市畜禽业主要污染地区为城市发展新区和渝东北生态涵养发展区，主要污染物为 TP。该结果与 2014 年《重庆市环境质量公报》中五大功能区域废水主要污染物排放量结果相符。

表 4 2013 年重庆市不同功能区畜禽养殖污染物等标排放量和等标污染负荷比的区域分布

Table 4 Equivalent standard discharge amounts and equiscalar pollution loading ratios of livestock breeding in different functional areas of Chongqing in 2013

功能区 Functional area	等标排放量 Equivalent standard discharge amount (10^4 m³·a^{-1})				等标污染负荷比 Equiscalar pollution loading ratio (%)				
	COD	TN	TP	总排放量 Total emission	TP	TN	COD	负荷比 Load ratio	累计比 Cumulative ratio
城市发展新区 Urban development area	700 323	356 049	5 328 820	5 754 902	47.75	3.19	0.63	51.57	51.57
渝东北生态涵养发展区 Northeast ecological conservation development area	55 709	331 631	4 005 669	4 393 009	35.89	2.97	0.50	39.36	90.93
渝东南生态保护发展区 Southeast ecological protection development area	12 599	73 581	666 900	753 080	5.98	0.66	0.11	6.75	97.68
都市功能拓展区 Urban expansion function area	5 893	32 330	217 923	256 146	1.95	0.29	0.05	2.30	99.98
都市功能核心区 Urban core function area	31	119	3 012	3 162	0.03	0.00	0.00	0.03	100.00
负荷比 Loading ratio	—	—	—	—	91.60	7.11	1.29	—	—
累计比 Cumulative	—	—	—	—	91.60	98.71	100.00	—	100.00

城市发展新区作为工业农业发展中心，政策指向是大力发展养殖业，所以养殖业是主要污染源。而作为主要污染源的渝东北生态涵养发展区是三峡库区的主要部分，长江流域的主要生态屏障，其生态环境本身就脆弱，易发生水环境污染。所以，必须建立严格的三峡库区生态红线，实施总量控制。

2.3 重庆市水环境对畜禽养殖的潜在响应分析

为了进一步分析畜禽养殖业对重庆市水环境的潜在影响程度，统计出重庆市各功能区地表水资源量(不包括过境水量)，按照公式(11)和(12)计算由于畜禽养殖引发水体的 COD、TN、TP 污染浓度，得出单项污染指数和综合污染指数(表 5)。从单项污染指数中可得，COD 和 TN 均无超标地区，但 TP 的超标现象严重。从综合污染指数可以看出，畜禽养殖污染水质指数在 0.22~4.12 之间，除了城市发展新区和渝东北生态涵养发展区超过标准外，其余均未超标。

表 5 2013 年重庆市不同功能区畜禽养殖污染水质潜在污染指数

Table 5 Potential water pollution index of livestock breeding in different functional areas of Chongqing in 2013

功能区 Functional area	地表水资源量 Surface water resource (10^9 m³)	污染水质潜在污染指数 Potential water pollution index			
		COD	TN	TP	综合指数 Comprehensive index
都市功能核心区 Urban core function area	1.044 9	0.00	0.01	0.29	0.22
都市功能拓展区 Urban expansion function area	23.607 7	0.02	0.14	0.92	0.70
城市发展新区 Urban development area	97.169 4	0.07	0.37	5.48	4.12
渝东北生态涵养发展区 Northeast ecological conservation development area	261.858 3	0.02	0.13	1.53	1.15
渝东南生态保护发展区 Southeast ecological protection development area	143.571 5	0.01	0.05	0.46	0.35

3　讨论与结论

重庆市畜禽养殖业的主要污染物为 TP，主要污染地区为城市发展新区和渝东北生态涵养发展区。说明这两个功能区面对同样的环境问题，但是由于其功能定位不同，环境特征差异化，所以应采取不同环境保护政策。例如针对城市发展新区，建立重要水源地的生态红线，实行产业规划，制定相应的农产品行业污染物排放标准等，支持农业发展。而针对渝东北生态涵养发展区，应实施以保护三峡库区水源涵养区为目标的生态红线制度，禁止可能破坏生态涵养和保护功能的项目实施。渝东南生态保护发展区虽然不是主要污染区，但是其生态本身比较脆弱，基础环境设施落后，所以必须解决落后的经济水平与生态安全之间的矛盾。

本文在估算畜禽养殖排污量的过程中，结合重庆实际养殖现状，计算基于重庆市养殖业污染治理模式下的畜禽排污系数，提出了饲养周期修正法，解决了以往研究中排污量偏大偏小的问题。但是各种治污模式下的污染物消减率采用的是国家推荐系数，可能使得本计算结果偏小，建议今后多开展重庆地区各种治污措施对污染物减排效果研究。同时，为了进一步分析畜禽养殖业的污染状况和危险程度，应扩大和细分污染物种类，如氨氮、磷酸盐、抗生素等。

本文在分析水环境对畜禽养殖的潜在响应特征时，结合重庆市特殊功能区划，将畜禽污染与五大功能区联系，针对不同区域内相应的水环境标准进行综合评价，更能准确地反映畜禽养殖对各个功能区的压力和实际响应，从而较科学地为重庆市不同区域畜禽养殖污染防治提供相应的对策。但是由于缺少区县尺度的相关水环境监测数据，没有在区县尺度上进行分析比较。因此，建议以后加强完善水环境的监测，以便在区县层次上多展开分析讨论。

重庆市2013年畜禽养殖量为411.81万猪当量，粪便、尿、COD、TN、TP 实物排放量分别为 2.27×10^6 t·a^{-1}、1.66×10^6 t·a^{-1}、3.03×10^4 t·a^{-1}、0.72×10^4 t·a^{-1}、1.87×10^4 t·a^{-1}。污染物等标排放量为 1.12×10^{11} m³，其中 COD、TN 和 TP 分别为 1.44×10^9 m³、7.94×10^9 m³和 1.02×10^{11} m³。

通过基于畜禽养殖业污染物排放情况和水环境功能区划的分析，确定了重庆市畜禽养殖业主要污染地区为城市发展新区和渝东北生态涵养发展区，主要污染物为 TP。由于畜禽养殖污染引起的水质综合指数在 0.22~4.12 之间，除了城市发展新区和渝东北生态涵养发展区超过标准外，其余均未超标。

参考文献　References

[1] 国家环境保护总局自然生态保护司. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002
State Environmental Protection Administration of Nature and Ecology Conservation. National-Scale Livestock and Poultry Pollution Investigation and Prevention Measures[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002

[2] 刘培芳, 陈振楼, 许世远, 等. 长江三角洲城郊畜禽粪便的污染负荷及其防治对策[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5): 456–460
Liu P F, Chen Z L, Xu S Y, et al. Waste loading and treatment strategies on the excreta of domestic animals in the Yangtze Delta[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2002, 11(5): 456–460

[3] 宋大平, 庄大方, 陈巍. 安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价[J]. 环境科学, 2012, 33(1): 110–116
Song D P, Zhuang D F, Chen W. Risk assessment of the farmland and water contamination with the livestock manure in Anhui Province[J]. Environmental Science, 2012, 33(1): 110–116

[4] 张绪美, 董元华, 王辉, 等. 中国畜禽养殖结构及其粪便 N 污染负荷特征分析[J]. 环境科学, 2007, 28(6): 1311–1318
Zhang X M, Dong Y H, Wang H, et al. Structure of livestock and variation of fecal nitrogen pollution load in China[J]. Environmental Science, 2007, 28(6): 1311–1318

[5] 马林, 王方浩, 马文奇, 等. 中国东北地区中长期畜禽粪尿资源与污染潜势估算[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 170–174
Ma L, Wang F H, Ma W Q, et al. Assessments of the production of animal manure and its contribution to eutrophication in Northeast China for middle and long period[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(8): 170–174

[6] 董红敏, 朱志平, 黄宏坤, 等. 畜禽养殖业产污系数和排污系数计算方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 303–308
Dong H M, Zhu Z P, Huang H K, et al. Pollutant generation coefficient and discharge coefficient in animal production[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 303–308

[7] 王俊能, 许振成, 吴根义, 等. 畜禽养殖业产排污系数核算体系构建[J]. 中国环境监测, 2013, 29(2): 143–147
Wang J N, Xu Z C, Wu G Y, et al. Construction of pollutants producing and discharging coefficient accounting system for livestock and poultry breeding industry[J]. Environmental Monitoring in China, 2013, 29(2): 143–147

[8] 高新昊, 江丽华, 李晓林, 等. "等标污染法"在山东省水环境农业非点源污染源评价中的应用[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 1066–1070
Gao X H, Jiang L H, Li X L, et al. Using Equivalent Standard Pollution method to evaluate impacts of agricultural non-point pollution resources on water environment in Shandong Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(5): 1066–1070

[9] 钱晓雍, 沈根祥, 郭春霞, 等. 基于水环境功能区划的农业面源污染源解析及其空间异质性[J]. 农业工程学报, 2011,

27(2): 103–108
Qian X Y, Shen G X, Guo C X, et al. Source apportionment and spatial heterogeneity of agricultural non-point source pollution based on water environmental function zoning[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 103–108

[10] 陈玉成, 杨志敏, 陈庆华, 等. 基于"压力–响应"态势的重庆市农业面源污染的源解析[J]. 中国农业科学, 2008, 41(8): 2362–2369
Chen Y C, Yang Z M, Chen Q H, et al. Source apportionment of agricultural non-point source pollution in Chongqing based on pressure-response system[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(8): 2362–2369

[11] 严素定. 黄石市农业面源污染的解析及其空间异质性研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 225–228
Yan S D. Source apportionment and spatial heterogeneity of agricultural non-point source pollution in Huangshi, Hubei Province[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(9): 225–228

[12] 重庆市统计局, 国家统计局重庆调查总队. 2014 重庆统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014
Chongqing Municipal Bureau of Statistics, NBS Survey Office in Chongqing. Chongqing Statistical Yearbook 2014[M]. Beijing: China Statistics Press, 2014

[13] 王方浩, 马文奇, 窦争霞, 等. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效应[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 614–617
Wang F H, Ma W Q, Dou Z X, et al. The estimation of the production amount of animal manure and its environmental effect in China[J]. China Environmental Science, 2006, 26(5): 614–617

[14] 廖青, 黄东亮, 江泽普, 等. 广西畜禽粪便产生量估算及对环境影响评价[J]. 南方农业学报, 2013, 44(4): 627–631
Liao Q, Huang D L, Jiang Z P, et al. Estimation of quantity of livestock and poultry manure and environment impact assessment in Guangxi[J]. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(4): 627–631

[15] 彭里. 重庆市畜禽粪便污染调查及防治对策[D]. 重庆: 西南农业大学, 2004
Peng L. Animal manure pollution and control measures in Chongqing[D]. Chongqing: Southwest Agricultural University, 2004

[16] 林毅青, 吴根义, 佘磊, 等. 种养结构对区域农田系统土壤氮素承载力的影响——以湘潭县为例[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2013, 39(3): 310–314
Lin Y Q, Wu G Y, She L, et al. Effect of crop-livestock structure on environmental capacity of soil nitrogen in regional farmland system: A case study of Xiangtan County[J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2013, 39(3): 310–314

[17] 中华人民共和国环境保护部. 关于减免家禽业排污费等有关问题的通知(环发[2004]43 号)[EB/OL]. [2014-03-15]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172271.htm
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Notice on the relevant issues concerning the reduction of sewage charges for the poultry industry (UNCED No. [2004]43)[EB/OL]. [2014-03-15]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172271.htm

[18] 重庆市环境保护局. 重庆市地面水域适用功能类别划分规定(渝环发[2009]110 号)[EB/OL]. [2009-10-20]. http://www.cepb.gov.cn/fzlm/gjjs/index.shtml
Environmental Protection Agency in Chongqing. The rules of function classification on the ground waters (Chongqing UNCED No. [2009]110)[EB/OL]. [2009-10-20]. http://www.cepb.gov.cn/fzlm/gjjs/index.shtml